

**APROVECHAMIENTO DEL AGUA  
DEPURADA PARA RIEGO DE CULTIVOS EN  
EL MUNICIPIO DE VALSEQUILLO**

**Wastewater reuse for crop irrigation in the  
municipality of Valsequillo**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA  
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**AUTOR:**

**D. José Juan Pérez Suárez**

**DIRECTORA:**

**Dra. D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> del Pino Palacios Díaz (ULPGC)**

Alcalá de Henares, a 13 de septiembre de 2021

## AGRADECIMIENTOS

Asumir nuevos retos en ocasiones es muy difícil. Caminar es fácil pero puede ser aburrido y monótono si decides afrontarlo solo. Sin embargo cuando te atreves a dar el primer paso y das con un “fiel” escudero, todo se hace más fácil. Sin duda, cual “*siervo de la gleba*” me ha protegido, instruido, aconsejado y dedicado el tiempo necesario para que no me cansara y consiguiera llegar, aunque fatigado, al final de este sendero. Muchas gracias AMIGO José Ramón.

Este camino tampoco hubiera sido posible sin las magistrales aportaciones de mi tutora la Dra. M<sup>a</sup> del Pino Palacios Díaz que en su revisión y dirección me demostró la profesionalidad y el conocimiento que tiene sobre el tema. Gracias Pino.

A la Dra. María del Carmen Cabrera Santana y al Dr. Francisco José Pérez Torrado, su disponibilidad, sus sugerencias, sus conocimientos, sus conversaciones amenas me impulsaron a seguir en la senda.

Agradecer a Eugenia y a Guille su ofrecimiento y dedicación, que lujo tenerlos como sobrina/o.

Gracias Ana y María, sin la paciencia y comprensión que muestran conmigo esto no hubiera sido posible.

*“Ladran, ladran,,,,querido Sancho, luego cabalgamos”*

Valsequillo, septiembre 2.021.

## ÍNDICE.

<b>CAPITULO I. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
<b>CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>10</b>
2.1.1. Descripción del municipio y localización de la EDAR.....	10
• El municipio de Valsequillo.....	10
• La agricultura en el municipio de Valsequillo .....	11
• Climatología de la zona. ....	15
• Localización de la EDAR.....	16
2.1.2. Cálculo de la ETo por el método de Penman-Monteith .....	17
2.1.3. Concepto de la Evapotranspiración (ET).....	17
2.1.4. Método de Penman-Monteith.....	19
2.1.5. Determinación de Kc. Valor para las especies cultivadas y sus estados fenológicos.....	20
2.1.6. Localización de las posibles zonas regables con agua depurada. ....	22
<b>2.2. DESCRIPCIÓN DE LA DEPURADORA Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DEPURADA PARA USO AGRÍCOLA .....</b>	<b>23</b>
2.2.1. La reutilización agrícola de las aguas depuradas.....	27
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. LA CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. ANALITICA DE LAS AGUAS.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Conductividad eléctrica. ....	33
3.2.2. SAR (Relación de Absorción de Sodio). ....	34
3.2.3. C.S.R. (Carbonato Sódico Residual). Índice de Eaton.....	34
3.2.4. Criterios de fitotoxicidad .....	35
3.2.5. Dureza.....	35
3.2.6. Coeficiente Alcalimétrico (Índice de Scott).....	36

<b>3.3. VALORES ETo.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4. VALORES Kc.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5. DOTACIONES.....</b>	<b>38</b>
3.5.1. Zona Norte Baja.....	38
3.5.2. Zona Sur Baja.....	39
<b>3.6. SUPERFICIES REGABLES .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPITULO IV. CONCLUSIÓN. ....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO VI. ANEXOS.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO I: Cálculo ETo por el método PENMAN-MONTEITH. ....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO 2: Valores máximos admisibles para la reutilización de agua depurada de uso agrícola, R.D. 1620/2007 .....</b>	<b>53</b>

## **LISTADO DE TABLAS.**

Tabla 1: Superficie ocupada por los cultivos más representativos en el municipio de Valsequillo .....	13
Tabla 2: Parámetros agroclimáticos del municipio de Arico.....	19
Tabla 3: Valores recomendados para la reutilización de aguas depuradas según el R. D. 1.620/2007 .....	31
Tabla 4: Caracterización climática mensual del municipio de Valsequillo según el Índice de aridez de Martonne.....	32
Tabla 5: Resultados analítica agua depurada y de agua blanca. ....	33
Tabla 6: Clasificación del agua de riego según Conductividad Eléctrica.....	34
Tabla 7: Clasificación del agua de riego según Índice de Eaton .....	35
Tabla 8: Clasificación del agua de riego según iones específicos .....	35
Tabla 9: Clasificación del agua de riego según su dureza. ....	36
Tabla 10: Clasificación del agua de riego según índice de Scott. ....	36

Tabla 11: Valores de ETo por mes en la zona de influencia de riego con agua depurada.....	37
Tabla 12: Valores de Kc por mes para los distintos cultivos.....	37
Tabla 13: Dotación de riego con agua depurada para los distintos cultivos .....	38
Tabla 14: Dotación de riego con agua depurada por cultivo/mes en la zona de influencia baja norte del municipio ..	39
Tabla 15: Dotación de riego con agua depurada por cultivo/mes en la zona de influencia baja sur del municipio.....	40
Tabla 16: Superficie ocupada por los cultivos regados con agua depurada. ....	41

## **LISTADO DE FIGURAS.**

Figura 1: Situación geográfica del municipio de Valsequillo (ISTAC, 2.020) .....	11
Figura 2: Mapa de cultivos del municipio de Valsequillo.....	14
Figura 3: Factores que afectan a la evapotranspiración. (FAO, 56, 1998) .....	18
Figura 4: Valores de Kc a lo largo del ciclo de cultivo (FAO 56, 1998).....	22
Figura 5: Zonas de influencia de riego con agua depurada. ....	23
Figura 6: Esquema de la EDAR de Valsequillo .....	27

## **RESUMEN.**

La escasez de agua en las medianías de Gran Canaria en la actualidad es un problema importante al que se enfrenta la agricultura, especialmente en las zonas donde tradicionalmente el riego ha estado vinculado a pozos y galerías. El uso de agua depurada como alternativa complementaria para hacer frente a esta carencia y asegurar una mejora del riego para los cultivos agrícolas debería ser objeto de estudio. El presente trabajo pretende cuantificar el consumo de un agua depurada en unas zonas de influencia dentro del municipio de Valsequillo, una de las importantes comarcas agrícolas de la Isla de Gran Canarias.

## **CAPITULO I. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES.**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

La agricultura es un sector importante a nivel mundial. Según la FAO, el sector primario agropecuario debe beneficiarse de un programa de desarrollo y monitoreo continuo que luego generará políticas diseñadas y orientadas para un uso óptimo y sostenible de los diversos recursos naturales existentes.

El crecimiento rápido de la población y la demanda creciente en productos alimentarios agrícolas o ganaderos, además de la concienciación por parte de los consumidores de favorecer el desarrollo local hace que el sector agropecuario experimente un desarrollo importante. Pero sin duda, este aumento de superficie agrícola lleva aparejado un incremento del consumo de agua de riego a pesar de las modernas técnicas y sistemas de riego que intentan reducir y optimizar las dotaciones. Obviamente, es por ello que el riego de los cultivos es considerado como el recurso más dependiente de agua debido a su consumo (Bezerra *et al.*, 2010).

En la actualidad, la producción agrícola está expuesta a varios factores limitantes, entre los que cabe destacar el cambio climático y, de forma implícita, la escasez y la calidad de los recursos hídricos, que son considerados clave para el desarrollo de una comarca eminentemente agrícola como Valsequillo.

Diferentes estudios recientes de observación y modelización muestran que las temperaturas extremas más altas han aumentado significativamente durante los últimos años. Cada año se producen episodios cálidos que representan un riesgo para las actividades económicas dependientes, como es el caso de la agricultura. Este hecho, ha planteado la necesidad de adoptar medidas y estrategias para hacer frente a la variabilidad climática (Potosky y Ramakrishna, 2002). Por lo tanto, el uso de aguas residuales tratadas se considera como alternativa importante para la planificación agrícola.

Según Rocha *et al.*, (2003), el conocimiento de los diferentes criterios y factores que afectan al flujo del agua entre diferentes sistemas atmósfera/suelo/ planta de los cultivos es de gran importancia para el manejo del riego.

De hecho, para alcanzar el balance hídrico en los diferentes sistemas agrícolas, se debe estimar un índice generado por dos fenómenos independientes que se identifican como la evaporación y la transpiración.

Dada la complejidad de cálculo por separado, la FAO (2006) considera que la combinación de estos dos procesos y su cuantificación puede generar información importante sobre las cantidades de agua evaporadas por el suelo y consumidas por el cultivo que son necesarias para su desarrollo.

Da Silva *et al.*, (2005), indicaron que el índice de evapotranspiración es fundamental para la interpretación de la cantidad consumida en agua para los cultivos. Esto permite una gestión adecuada de los recursos hídricos destinada al riego de los mismos.

El presente estudio intenta proponer un plan de gestión y una estrategia eficaz frente a la escasez de las aguas destinadas al riego de los cultivos existentes en el municipio de Valsequillo.

Siguiendo las recomendaciones generalmente admitidas, se adoptará el método de Penman Monteith (FAO-56) para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), que de manera general representa las pérdidas en agua de los cultivos sin restricciones hídricas (Allen, 1990; Pereira, *et al.*, 1997).

## **1.2. ANTECEDENTES.**

Los recursos hídricos tienen una importancia vital para los diferentes ecosistemas y nichos ecológicos. Además, el uso del agua en la agricultura alcanza aproximadamente el 70% al nivel mundial, y más del 90% en los países en desarrollo (WWAP, 2014). Sin embargo, en regiones de economía más avanzada y que cuentan con una tecnología de riego más tecnificada, este porcentaje disminuye. Por ejemplo, el consejo Insular de Aguas de Gran Canaria estimó en sus previsiones del plan hidrológico que para el 2021 sólo el 34.6% se destinaría usos agropecuarios.

El uso intensivo y la escasez de los recursos hídricos en el mundo constituyen un problema mundial irreversible. Según las previsiones del Instituto Mundial de los Recursos (WRI), la mayoría de los países se va a encontrar en una situación de escasez extrema a partir del 2020.



Utilizando un conjunto de modelos climáticos y escenarios socioeconómicos, el WRI puntuó y clasificó como un gran problema el estrés hídrico futuro en 167 países para los próximos años, 2020, 2030 y 2040. De entre todos los países, España se encuentra en la posición 33, que lo sitúa en un estrés hídrico extremadamente alto en 2040 (Maddocks, *et al.*, 2015). Ante este panorama, Canarias, por su situación geográfica, está inmersa dentro de esta incertidumbre.

La agricultura ha sido considerada una fuente económica importante cuya función principal ha sido la de garantizar la seguridad alimentaria para la población y contribuir al PIB con el aporte de capital y mano de obra. Sin embargo, en la actualidad en ecosistemas tan frágiles como los de Canarias, la agricultura hay que verla además como un elemento generador de paisaje, conservacionista y con un carácter etnográfico-cultural de importe relevancia.

Para ello, no hay duda de que el sector debe evolucionar y promover el uso de nuevas técnicas para optimizar los recursos necesarios, especialmente los recursos hídricos y minimizar los impactos ambientales.

Según Sumaila *et al.*, (2009), el uso del agua para el riego varía entre un país y otro, y por tanto, la eficiencia y eficacia depende de las condiciones políticas, económicas y tecnológicas de cada país. En el mismo sentido, Albiac, *et al.*, (2008) señalan que España, Israel y Australia son considerados como ejemplos mundiales en la inversión con respecto al uso de los recursos hídricos de manera eficaz y sostenible. En este caso, y pionera por la necesidad, se encuentra Canarias. Desde hace muchos años los canarios han tenido que convivir con la amenaza de la falta de agua y con la adaptación de técnicas de riego y tratamiento de agua para la agricultura.

En un modelo de gestión de agua para riego agrícola actual, Casallas-Garzón *et al.*, (2019) plantean que es fundamental valorar la disponibilidad de los recursos y la variabilidad de parámetros abióticos como la precipitación, la temperatura y las características físicas de la zona, para de esta forma optimizar los sistemas productivos. Los mismos autores consideran que el conocimiento de los recursos hídricos con los que se cuenta contribuye en la toma de decisiones que deben ser planteadas con el propósito de elaborar un plan de gestión y explotación. Dicho conocimiento ayudará a tener un uso sostenible de este recurso al mismo tiempo que se garantiza una mejora de la producción agrícola.

De esta manera, y con el objeto de cuantificar y optimizar las necesidades hídricas de los cultivos, para este estudio se propone utilizar el concepto de evapotranspiración (ET), que se considera como uno de los parámetros definitorios en la elaboración de un modelo de gestión, teniendo en cuenta que se utiliza para el cálculo de la demanda de agua.

La evapotranspiración es un parámetro que sirve para describir el ciclo de la transformación del agua hacia la atmosfera a través de la planta. Por tanto, se puede estimar la demanda de agua y permite la clasificación de las zonas en áridas y semiáridas (Huo, *et al.*, 2013). Con esta aproximación se puede determinar y calcular la cantidad de agua que se debe aportar a un cultivo (Ortíz-Solorio, 1987).

Para ello, es necesario introducir el factor de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que está representado por la diferencia entre la evapotranspiración real de la especie cultivada para cada una de sus etapas fenológicas y la evapotranspiración de referencia medida en las estaciones meteorológicas automáticas. Es un coeficiente que determina la diferencia entre los aspectos físicos y fisiológicos de los diferentes grupos cultivados (Allen *et al.*, 1998).

Como ya se ha expresado en el apartado de introducción, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) recomienda para el cálculo de la evapotranspiración la ecuación de Penman Monteith. Aunque existen otros métodos indirectos para la determinación de este factor, como Priestley y Taylor, Turc, Thornwhite, Doorembos y Pruitt, Blannet-Cridde y otros, han demostrado comportarse como peores estimadores del consumo de agua. En Canarias, en la actualidad, el método que más se utiliza es el propuesto por la FAO en el cálculo de las necesidades de riego para los diferentes cultivos (Hernández, J.M y Pérez, A., 1974).

En este sentido, Ortega-Farías *et al.*, (2009). Wang *et al.*, (2015) y McAfee (2013), han demostrado que el uso de este método indirecto para el cálculo de necesidad de agua para riego es el que mejor se aproxima a los resultados esperados. Por tanto, en la actualidad es el más fiable y utilizado para el diseño y planificación de una estrategia que tenga como objetivo la optimización de regadíos (Garatuza-Payan *et al.*, 1998).

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

El objetivo de este estudio es proponer el consumo de agua depurada de excelente calidad (la que mejor se adapta a la reutilización en el medio propuesto) para uso agrícola en el municipio de Valsequillo en todos aquellos cultivos que sean susceptibles de ser regados.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Cuantificar las necesidades de agua depurada de los cultivos susceptibles de ser regados.
- Convencer a los agricultores de la idoneidad del consumo de agua depurada y de su manejo.
- Valorar la importancia de usar el agua depurada para la agricultura en el término municipal de Valsequillo.

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **2.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

#### **2.1.1. Descripción del municipio y localización de la EDAR.**

- **El municipio de Valsequillo.**

El municipio de Valsequillo se sitúa en la zona este de la isla Gran Canaria, con las siguientes coordenadas 27°58'51" N y 15°29'56" O. La superficie total es de 39.15 km<sup>2</sup> según los datos del Instituto Canario de Estadística ISTAC (2020).

Sin salida al mar, el municipio se caracteriza por sus actividades agrícolas, que presentan la fuente económica más importante para la población municipal. Un estudio de la evolución de los empleos relacionados con el sector de la agricultura revela una tendencia al aumento del empleo agrario durante los últimos años. Este aumento viene condicionado por varios motivos; por un

lado, el retorno de mano de obra cualificada agrícola jubilada y, por otro lado, la oferta de suelo agrícola de excelente calidad que existe en este momento.

Cabe destacar que, el apoyo a través de subvenciones autonómicas a la incorporación a la actividad agrícola, a la producción local y la implicación de grandes cadenas de supermercados que promueven el consumo local, son factores que favorecen la incorporación y desarrollo del agro municipal.

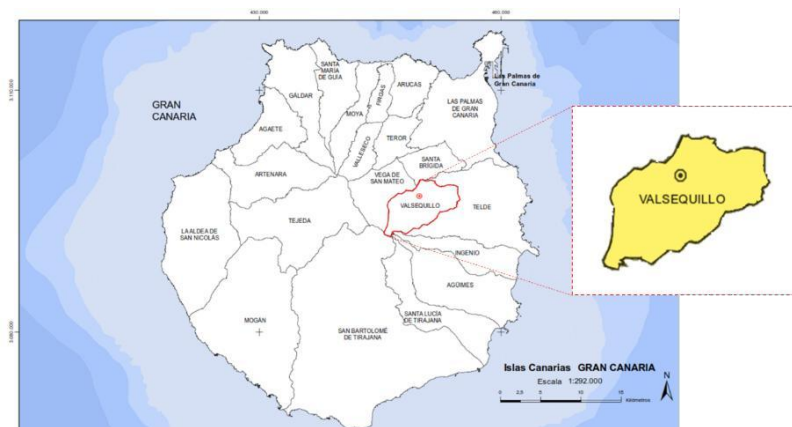


Figura 1: Situación geográfica del municipio de Valsequillo (Fuente: ISTAC, 2020).

Sin embargo, este desarrollo lleva consigo un aumento en el consumo de agua para riego que, en la actualidad, es escasa y su acceso es limitado y competitivo.

- **La agricultura en el municipio de Valsequillo.**

La agricultura constituía hasta hace unos pocos años la actividad económica principal del municipio. Se trataba de un tipo de agricultura basada en el policultivo de secano y que dedicaba unas pocas hectáreas al regadío. Al igual que en otras zonas de medianías del archipiélago, predominaba el cultivo de cereales, leguminosas, papas y frutales. Entre los primeros, trigo y cebada, entre los segundos, la judía seca y entre los últimos, las higueras y, fundamentalmente, los almendreros.

En el secano también alcanzaba una gran extensión la superficie dedicada a las forrajeras. Éstas servían para completar la alimentación del ganado aprovechando las zonas de pastizales.

Los manantiales, los pozos y las aguas de galerías facilitaban también la práctica del regadío. Los

espacios acondicionados para el riego se destinaban al cultivo de papas, hortalizas, millo y frutales.

La modernización agrícola supuso la reducción de la superficie de secano, el abandono de las explotaciones menos rentables y la progresiva especialización en una serie de cultivos cuya producción se destinaba casi exclusivamente al mercado insular.

La papa extratemprana, que se recolecta entre mediados de enero y mediados de abril, así como otras producciones de regadío como las hortalizas y los cítricos, comenzaron a ganar importancia en las superficies abandonadas, creadas por los agricultores a lo largo de sucesivas generaciones.

Por otra parte, a medida que se aceleraba el proceso de abandono rural, desde finales de los setenta y principios de los ochenta, se fue incrementando el nivel de especialización de las fincas. Se introdujo el cultivo de flores, tanto en invernaderos como al aire libre. Este desarrollo de la floricultura trajo consigo la profesionalización de un sector que estaba en franco retroceso, haciendo posible la incorporación de jóvenes al mismo, y la introducción de nuevas técnicas y sistemas de cultivo.

La floricultura, además, aportó nuevos cambios en la comercialización de la producción, que pasó de ser puramente insularista a buscar nuevos mercados europeos, labor desarrollada por la presencia inglesa en el municipio.

En los últimos años la superficie dedicada a secano ha disminuido, sobre todo la de los almendreros, aunque ha habido intentos de recuperación del mismo. La declaración de paisaje protegido ha hecho que muchos de los terrenos situados en enclaves de la actual reserva ecológica hayan sido abandonados.

Recientemente, han adquirido un gran protagonismo los frutales subtropicales, principalmente aguacates (predominando las variedades Fuerte, Hass y Zutano), y, desde hace treinta años, los cultivos dedicados al fresón. Es el cultivo del fresón el que más cambio ha experimentado en los últimos años, pasando de ser cultivado en suelo mediante un manejo puramente artesanal, a poder disfrutar de invernaderos tipo túneles provistos de modernos equipos de fertirrigación, y sobre distintos sustratos para el cultivo hidropónico, principalmente lana de roca y fibra de coco.

Al igual que ha ocurrido en otros municipios del archipiélago, el cultivo de la vid se ha

establecido en el suelo agrícola de Valsequillo. Se trata de un nuevo cultivo que está adquiriendo un renovado protagonismo con la plantación de nuevas cepas y en espaldera. Del mismo modo, en la siguiente tabla se puede observar la distribución porcentual de los distintos cultivos presentes en el municipio de Valsequillo.

**Cítricos y otros subtropicales:** forman parte de los cultivos frutales leñosos de la zona, son cultivos con altas dotaciones de riego, pero muy adaptados a las zonas medias y bajas del municipio.

**Frutales templados de pepita y hueso:** este tipo de cultivo está instalado principalmente en la zona media y alta del municipio debido a sus exigencias de horas frío.

**Cultivo de flores:** el cultivo de flores también está en declive debido a las duras condiciones. La especie más abundante en el municipio es el crisantemo.

**Cultivos de las fresas y otros frutos rojos:** este cultivo es más importante en la localidad desde el punto de vista económico y social. Con el aumento de los medios técnicos, la superficie destinada al cultivo de fresas se ha visto incrementada considerablemente.

**Cultivos de hortalizas:** se ha producido una expansión de este cultivo en los últimos años y las especies cultivadas son en la lechuga, el calabacín, las papas y el millo.

**Otros cultivos importantes:** el olivo, las higueras y el cultivo de la vid para la elaboración de vinos.

Tabla 1: Superficie ocupada por los cultivos más representativos en el municipio de Valsequillo.

Cultivo	Superficie (ha)
Papa	178,13
Pastizal	110,93
Hortalizas	61,95
Cítricos	52,55
Cereales y Leguminosas	44,10
Frutales templados	29,13
Hortalizas (huertos familiares)	19,61
Asociaciones frutales templados-papas	18,98
Flores y plantas ornamentales	8,67
Otras asociaciones cítricos y papas	8,35
Frutales subtropicales	5,79
Viña	5,27
Asociación hortalizas-papas	5,11
Tomate	1,26

De todo el panorama expuesto, se puede considerar que la agricultura ha pasado a ser una actividad complementaria para muchos propietarios agrícolas. La fuente de ingresos de muchas familias está en el sector servicios, especialmente en el subsector de la construcción. Así, las pocas tierras cultivadas suponen un complemento económico que les permite abastecer la despensa del hogar o ganar un poco de dinero con la venta de la producción. Este progreso de agricultura a tiempo parcial también se relaciona con el acondicionamiento de antiguas viviendas ligadas a los terrenos, que en buena parte han sido heredadas por antiguos emigrantes, que aún se encuentran con fuerzas y ganas para trabajar.

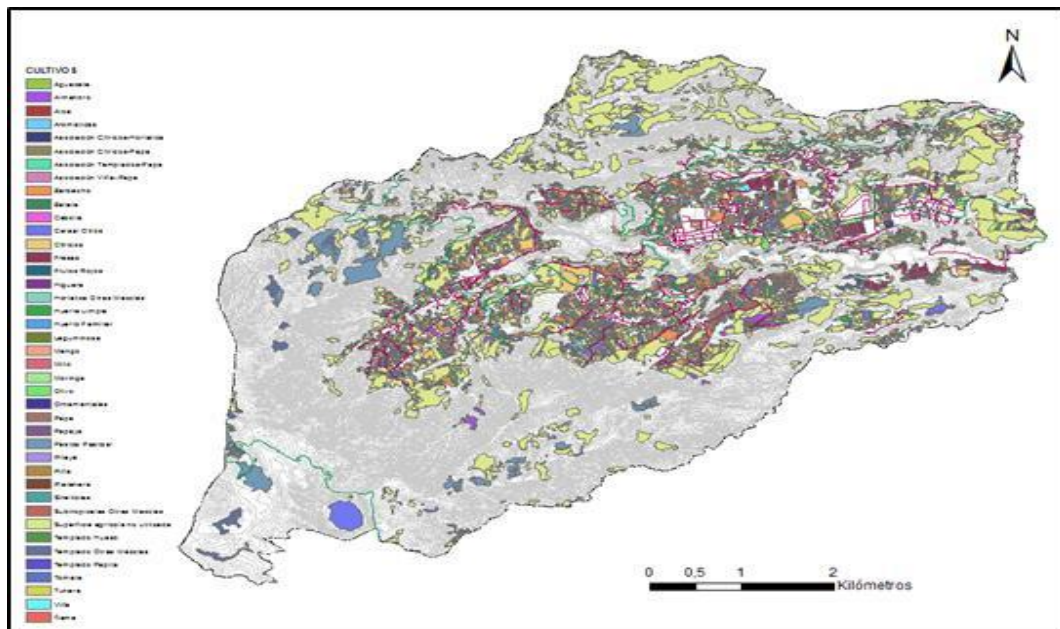


Figura 2: Mapa de cultivos del municipio de Valsequillo.

Por último, desde el punto de vista de la propiedad de la tierra y de otros indicadores agrícolas como el uso de maquinaria o el de la superficie de las parcelas, en Valsequillo se aprecia un predominio extraordinario del minifundismo, ya que más del 97 % de las explotaciones censadas tienen menos de cinco hectáreas.

También destaca el escaso número de maquinarias agrícolas que se emplean en la agricultura, consecuencia directa del reducido tamaño y la fragmentación de las explotaciones.

En la estructura sectorial del empleo se aprecia el peso secundario que tienen ya las actividades de la agricultura y la ganadería. Aunque suponen un alto porcentaje del valor de la riqueza municipal, con el desarrollo de nuevas formas de cultivo y producción, cada vez dan empleo a

un menor número de personas. De hecho, es muy difícil desarrollar programas para formar a los jóvenes en la práctica de estas actividades, en las que se advierte la sustitución por población extranjera emigrante.

- **Climatología de la zona.**

Los rasgos climáticos del municipio se pueden caracterizar en el contexto del clima general de la isla de Gran Canaria y del archipiélago, claramente influenciado por su posición en el subtropical, donde llegan las masas de aire de distinta procedencia (continental y marítima), una corriente oceánica fría y con un anticiclón estable en la zona del archipiélago de Azores. El aspecto más relevante de esas condiciones generales lo proporcionan los vientos alisios que juegan un papel fundamental en los rasgos climáticos locales. Por todo ello, en Canarias, los elementos que determinan el clima de una zona concreta son su altitud y orientación.

Estos rasgos definitorios se matizan en Valsequillo por encontrarse en las medianías de la sección Noreste de la isla de Gran Canaria, orientado a Levante y por sus diferencias de altitud entre las cotas mínimas y máximas.

La serie de datos climatológicos con la que se cuenta es muy corta, sin embargo, cabe destacar la cantidad y la distribución de las lluvias a lo largo del año. Con respecto a la cantidad de lluvia, se observa que no sobrepasa de los 380 mm anuales, siendo diciembre el mes más lluvioso, con más de 75 mm de media, seguido de febrero. Por el contrario, los más secos son julio, donde no llueve prácticamente nada, seguido de agosto y junio.

Con respecto a los datos de temperatura y humedad, cabe destacar que el promedio de temperaturas máximas en los meses de verano, normalmente altas, se encuentra en torno a los 25-29 grados centígrados y las mínimas en torno a los 15-17 grados centígrados. No obstante, en ocasiones se acentúa en las máximas absolutas por encima de los 32 grados centígrados. Sin embargo, en invierno, el promedio de las mínimas está entre los 9 y los 10 grados centígrados.

Para caracterizar el clima de Valsequillo, se podría utilizar distintos índices según la bibliografía, pero dada la simpleza, se ha optado por utilizar el método propuesto por el geógrafo francés, E. De Martonne, que caracteriza la situación climática del municipio en función de la precipitación total anual y de las temperaturas medias anuales.



El índice de aridez propuesto por Martonne es bastante sencillo en su aplicación, y responde a la siguiente fórmula:

$$A = P/T + 10$$

Donde,

**P:** precipitación total anual en mm.

**T:** temperatura media anual en °C.

Según los valores de **A**, se establece la siguiente clasificación:

<b><math>A &gt; 20</math></b>	Clima con humedad suficiente.
<b><math>10 \leq A \leq 20</math></b>	Clima con tendencia a la sequedad.
<b><math>5 &lt; A &lt; 10</math></b>	Clima árido.
<b><math>A \leq 5</math></b>	Clima hiperárido.

Este índice anual se puede completar con un índice mensual, tomando los valores de precipitación y temperatura del mes y multiplicando por 12 la precipitación:

$$a = (12 * p/t) + 10$$

Donde,

**p:** precipitación total mensual en mm.

**t:** temperatura media mensual en °C.

- **Localización de la EDAR.**

La Estación Depuradora municipal está ubicada en la parte baja del municipio, en el barrio denominado Tecén, a una cota 367 m.s.n.m. A la EDAR llega por gravedad una parte del aguatransportada por la red de saneamiento municipal. Sin embargo, como consecuencia de la dispersión y orografía del municipio, existen colectores que no vierten sus aguas brutas en la red que llega a la EDAR. Otro factor a tener en cuenta es el estado de la red de alcantarillado y la de pequeños grupos de viviendas que no poseen conexión a la red de saneamiento.

Las características más importantes de diseño y producción son:

Caudal Teórico: 468 m<sup>3</sup>/día.

Caudal Real: 252 m<sup>3</sup>/día.

Uso: Riego agrícola.

### **2.1.2. Cálculo de la $ET_o$ por el método de Penman-Monteith.**

Diferentes autores mencionan métodos directos o indirectos para poder cuantificar la necesidad real en agua de cada cultivo, permitiendo de esta manera establecer un plan de riego adecuado y según la necesidad para los diferentes cultivos.

Según Cisneros (2003), existen diferentes métodos para poder estimar la cantidad de agua necesaria para los cultivos, entre los que destacan el gravimétrico, el lisimétrico, los métodos directos y los indirectos como el cálculo de la evapotranspiración.

Por otro lado, Fuentes *et al.*, (2003) se refiere al uso del método de evapotranspiración, clasificado como un método indirecto, como un método válido y barato, ya que no usa instalaciones costosas y es bastante fiable. Dentro de los métodos indirectos de cálculo, los autores se refieren al método de Penman-Monteith, considerado como el más estandarizado, aunque necesita múltiples datos climáticos.

### **2.1.3. Concepto de la Evapotranspiración (ET).**

Por definición y como su propio nombre lo indica, la evapotranspiración consta de dos procesos fundamentales y complementarios a la vez: **la evaporación y la transpiración.**

Los dos procesos ocurren de forma simultánea y no es fácil en la práctica diferenciar entre los dos fenómenos. En consecuencia, el índice de evapotranspiración (ET) cuantifica la pérdida del agua (en mm) de una superficie de referencia durante una unidad de tiempo.

La evaporación es un proceso de transformación del agua a vapor en el que influyen factores externos climáticos como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, y la velocidad del viento. Por otro lado, relaciona los factores físicos con la superficie del suelo y su cobertura vegetal.

La transpiración, sin embargo, es un proceso relativo a la planta. El proceso depende de varios factores, cuya consideración resulta imprescindible para poder estudiar y cuantificar la transpiración en un cultivo (Cesar, 2019).

De manera general, los factores que afectan la evapotranspiración son también los factores que influyen los dos procesos de evaporación y transpiración por separado.

Figura 3: Factores que afectan a la evapotranspiración. (FAO, 56, 1998), y son los siguientes:

- ✓ La luz.
- ✓ La humedad.
- ✓ La temperatura.
- ✓ El viento.
- ✓ El contenido de humedad del suelo.
- ✓ Las características relativas al: especies cultivadas, sus niveles de desarrollo; su estructura foliar.

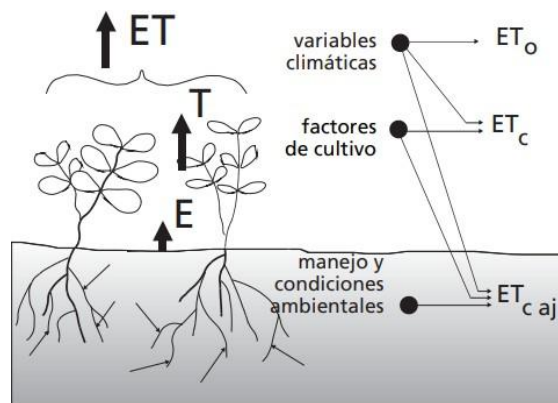


Figura 3: Factores que afectan a la evapotranspiración. (FAO, 56, 1998)

#### 2.1.4. Método de Penman-Monteith.

Contar con datos agroclimáticos de la zona es imprescindible para poder aplicar el método de Penman-Monteith de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

La ecuación está estandarizada para poder usar los diferentes datos agrometeorológicos de la zona deseada a estudiar. Sin embargo, para el cálculo de la  $ET_0$  del término municipal de

Valsequillo, al no disponer de los datos locales y por carecer de estaciones agroclimáticas completas, se han utilizado los datos de una estación ubicada en la isla de Tenerife. Concretamente en el municipio de Arico situado geográficamente en orientación y altitud similares al municipio de estudio.

Los datos de la estación agroclimática son los siguientes:

Cota: 410 msnm.

Latitud: 28° 11' 07,92 "N.

Longitud: 16° 28' 58,88 "O.

Tabla 2: Parámetros agroclimáticos del municipio de Arico.

Parámetro Mes	T	TM	Tm	P	HR	HRM	HRm	Vo	Vmax	Rad
Enero	14,8	26,8	8,3	3,4	65,6	100	21,1	3,1	10,6	3.455,40
Febrero	17,5	29,3	9,3	0,4	65,1	100	21,4	3,5	11,2	4.656,70
Marzo	15,2	26,8	10,1	29,1	81	99,6	13,9	3,3	13,9	4.586,70
Abril	16	23,4	10,8	22,1	85,5	99,5	47,1	2,5	9,7	4.410,90
Mayo	17,9	28,7	11,5	10,5	81,4	99,2	27,9	2,7	8,7	5.848,80
Junio	19,2	26,7	14,2	54,2	86,1	98,9	46,9	3,9	11,1	6.119,80
Julio	21,2	35,5	15,3	0	80,1	98,9	20,9	4,1	10,1	7.646,60
Agosto	22,1	40,6	16,4	0	75,2	99,7	14,9	3,4	11,1	6.886,80
Septiembre	19,8	29,5	15,1	17,7	84	100	36,3	3,7	9,5	5.369,00
Octubre	16,6	32,5	13	20,4	78,5	100	18,3	3,5	11,1	4.198,40
Noviembre	17,6	26,4	12	1,9	80,2	100	28,9	4,7	13,5	3.750,70
Diciembre	16,6	27,7	11,4	0,8	69,8	98,9	19,1	3,2	11,8	3.265,10
Media	16,1	29,5	12,3	160,5	77,7	99,6	26,4	3,5	11	5.016,20

Para garantizar la integridad de los cálculos, las mediciones meteorológicas deben realizarse a 2 m (o convertirse a esa altura) por encima de una extensa superficie de hierba verde cortada a ras, sombreando el suelo y sin falta de agua (Allen *et al.*, 1998).

La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal (Allen *et al.*,

2006).

Entonces, la ecuación se define como:

$$ET = ET_{\text{radiación}} + ET_{\text{aerodinámica}}$$

Lo que hace que la ecuación combinada es de:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde:

$R_n$	define la radiación neta.
$G$	representa el flujo de calor en el suelo.
$(e_s - e_a)$	es el déficit de presión de vapor al aire.
$\rho_a$	es la densidad media del aire a una presión constante.
$C_p$	define el calor específico del aire.
$\Delta$	es el pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.
$\gamma$	es la constante psicrométrica.
$r_s, r_a$	Son las resistencias: superficial (total) y aerodinámica.

### 2.1.5. Determinación de $K_c$ . Valor para las especies cultivadas y sus estados fenológicos

El concepto de evapotranspiración del cultivo se determina una vez que se ha calculado la evapotranspiración de referencia. Esta es estimada junto con un coeficiente de cultivo que se define como un parámetro que tiene en cuenta la cobertura del suelo para el cultivo determinado, así como la fisiología de la especie cultivada y los diferentes estadios de desarrollo del cultivo. Este parámetro se define como  $K_c$ .

De hecho, el coeficiente de cultivo  $K_c$  se usa para estimar la evapotranspiración del cultivo expresado en (mm/día). La ecuación relacionada con el cálculo de este factor es como la siguiente:

$$K_c = K_{cb} + K_e$$

Donde:

$K_{cb}$  es el coeficiente de cultivo.

$K_e$  es el coeficiente de evaporación del suelo.

De esa manera se expresa la evapotranspiración del cultivo con la ecuación:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Donde:

$ET_c$  en  $[mm\ d^{-1}]$  evapotranspiración del cultivo.

$K_c$  *[adimensional]* coeficiente del cultivo.

$ET_0$  en  $[mm\ d^{-1}]$  evapotranspiración del cultivo de referencia.

El coeficiente de cultivo nos permite conocer aspectos relativos a los distintos cultivos en sus diferentes fenologías y, por lo tanto, extrapolar el conocimiento sobre un cultivo determinado a otros que se encuentran en diferentes áreas geográficas, teniendo en cuenta (Castel J.R, 2005):

- ✓ La altura del cultivo puede influir en los coeficientes de radiación solar y resistencia del suelo.
- ✓ La reflectancia de la superficie donde se encuentra el cultivo estudiado, lo que puede modificar la radiación neta.
- ✓ El área foliar para la transferencia del vapor.
- ✓ La evaporación relativa al suelo.

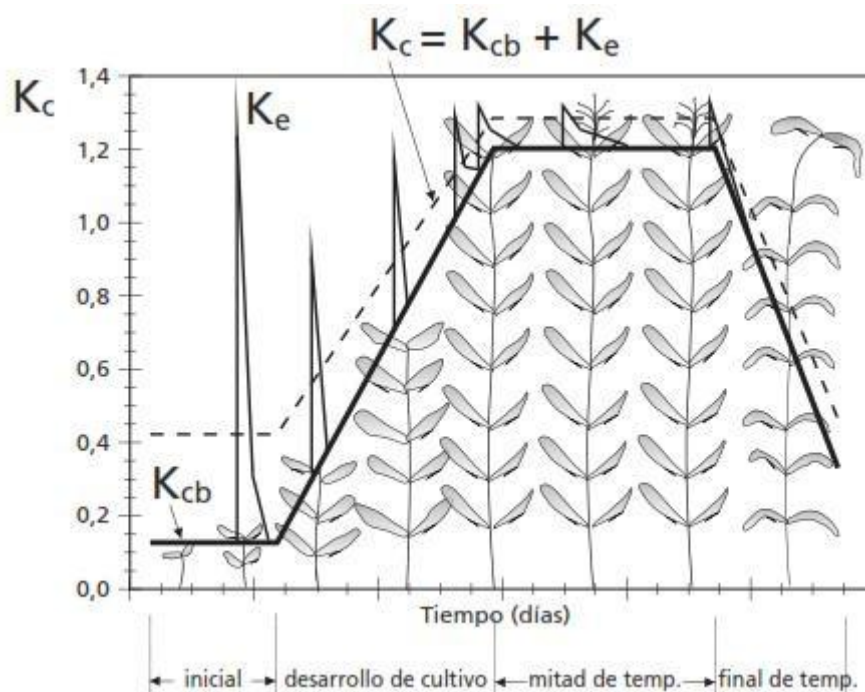


Figura 4: Valores de  $K_c$  a lo largo del ciclo de cultivo (FAO 56, 1998).

#### 2.1.6. Localización de las posibles zonas regables con agua depurada.

El municipio de Valsequillo, como otros muchos de los municipios de Gran Canaria, posee una diferencia de alturas bastante importante. La parte baja del municipio se encuentra en la cota 255 m.s.n.m. y la parte más alta situada a 1.840 m.s.n.m. La parte media y la de mayor cultivo se encuentra dividida por un gran barranco que divide claramente el municipio en dos cuencas.

La Estación Depuradora municipal fue construida en el año 2001. Se encuentra situada en la parte baja del municipio, en el barrio denominado Tecén, a una cota 367 m.s.n.m. La EDAR cuenta con una impulsión que lleva el agua hasta la cota 534 m.s.n.m., punto desde el que salen dos nuevas impulsiones para suministrar de agua a las diferentes cuencas del municipio. La primera de ellas impulsa hacia la cuenca norte del municipio, a un depósito regulador situado en la cota 620 m.s.n.m., denominado depósito de Los Marreros. La otra impulsión envía el agua hacia otro depósito denominado La Agujerada, situado en la cuenca sur municipal, a una cota de 680 m.s.n.m.

Hasta la fecha de hoy, los depósitos y la impulsión hacia la parte media del municipio no está en uso, tan sólo se beneficia del agua depurada una explotación cultivada de aguacates, mangos y cítricos, situada en la parte baja del municipio y próxima a la EDAR.

Con respecto a las superficies a regar con agua depurada, es obvio que se transportaría el agua por gravedad, contando con la presión necesaria para la utilización de sistemas de riego localizados.

En el esquema siguiente se representan las zonas de influencia regables con agua depurada y la división por cuencas.

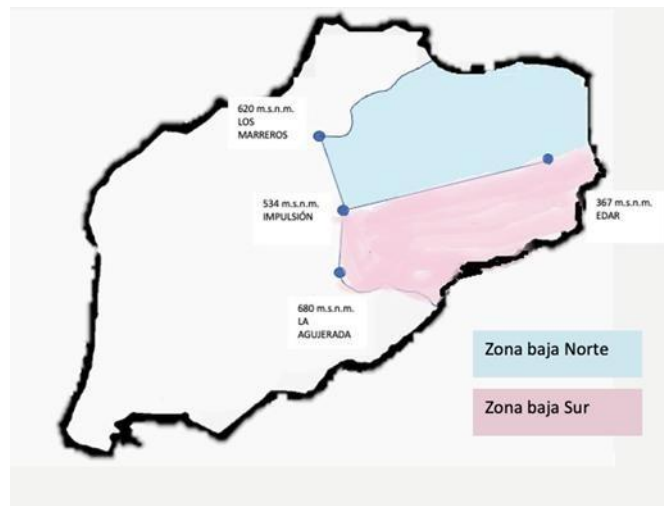


Figura 5: Esquema de las zonas de influencia de riego con agua depurada.

## **2.2. DESCRIPCIÓN DE LA DEPURADORA Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DEPURADA PARA USO AGRÍCOLA.**

Las aguas depuradas pueden tener diferentes sustancias contaminantes en concentraciones variables, según su calidad y uso anterior. La calidad del efluente y su destino condicionan el nivel y el tipo de tratamiento al que debe someterse. En el caso de Valsequillo, al tratarse de un municipio con una excelente agua de abasto y con escasa o nula actividad industrial, el agua producto es de buena calidad y apta para ser reutilizada en el riego agrícola. Asimismo, y como consecuencia de estas premisas y dada la antigüedad de su construcción, las instalaciones son bastante sencillas e incluso algunos tratamientos se fusionan y otros simplemente se han dejado de utilizar.

Se quiere destacar en el presente trabajo la importancia de disponer de una óptima red de saneamiento que sea capaz de recoger y suministrar de aguas fecales a la EDAR. Ciertamente es que la



dispersión de las viviendas y la orografía municipal no permiten o dificultan el trazado, mantenimiento y eficiencia de la red de alcantarillado (Hernández, A. 1997).

Asimismo, la presencia de vertidos puntuales procedentes de queserías dificulta la depuración de las aguas. Es por ello por lo que se propone que se tomen medidas *in situ* y/o se deriven puntualmente los vertidos de estas industrias con antelación.

La EDAR de Valsequillo, cuenta con las siguientes etapas y tratamientos:

- **Línea de agua.**

Parte del saneamiento municipal llega por gravedad a un depósito en el que se realiza un pretratamiento y acondicionamiento del agua bruta. En este depósito se encuentran unas rejillas de desbaste y un sistema de bombeo que impulsa el agua a la estación depuradora.

En este mismo lugar existe un *by-pass* que tiene la función de derivar a voluntad el caudal de entrada de agua bruta hacia otra conducción de saneamiento que va al municipio limítrofe.

Una vez llega el agua a la EDAR, pasa por otro pretratamiento que tiene como objetivo principal el desbaste, eliminación y tamizado de sólidos de gran tamaño, que por su acción mecánica pueden provocar un mal funcionamiento de los equipos utilizados en las siguientes fases. Asimismo, en esta fase se produce un desarenado y un desengrasado, que evita que las arenas y otros sólidos de mayor densidad que la materia orgánica erosionen los equipos de bombeo, obturen las tuberías y se acumulen en otros depósitos posteriores.

Cuenta, además, con un depósito de homogeneización para uniformizar caudales y características de las aguas que entrarán en el tratamiento biológico. Este depósito hace las funciones de decantador primario (Hernández, A., *et al.*, 1996).

A continuación, del depósito estabilizador/homogeneizador pasa a un depósito (cuba de aireación y reposo), que es el reactor de fangos activados, en el cual se hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o químicos. En este depósito, además, se lleva a cabo un proceso biológico aerobio (en presencia de oxígeno), seguido de una decantación. En el caso de la EDAR municipal, se ha demostrado la eficacia del tratamiento tan sólo con la inyección de aire, el reposo de las aguas residuales y la presencia de microorganismos. Cabe destacar que en la EDAR se ha suspendido desde hace años la línea de aplicación de productos químicos para

favorecer la eliminación de sólidos en suspensión al no ser necesario por la gran eficacia de la técnica empleada.

Con este tratamiento se consigue (Sierra, J., y Peñalver, L. 1989):

- La reducción de parte de los sólidos en suspensión que no han sido retenidos en el tratamiento primario.
- La oxigenación de los fangos concentrados para evitar los malos olores producidos normalmente por condiciones anaerobias.
- La eliminación de espumas y elementos flotantes.

Este tratamiento no está diseñado para reducir la salinidad del agua, que es un factor limitante en la reutilización de las aguas para uso agrícola, y que es uno de los vertidos incontrolados en el municipio. Se quiere hacer constar la ralentización de todo este proceso cuando existen vertidos incontrolados a la red de alcantarillado.

Para finalizar el proceso de depuración del agua, una vez que el agua ha pasado por el reactor de fangos, se introduce en un decantador secundario. La EDAR de Valsequillo cuenta un decantador circular, en donde el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo.

Dada la calidad obtenida tras el tratamiento secundario, los tratamientos terciarios no serían necesarios, solamente se aplican con el objeto de garantizar un mejor manejo y reutilización de esta. En el caso de la EDAR de Valsequillo se realizan dos tratamientos; por un lado, una cloración del agua y otro tratamiento físico que consiste en hacer pasar toda el agua obtenida por unos filtros de arena, antes de depositarla y bombearla para su reutilización

Hay que destacar que, debido a la excelente calidad de agua del municipio, no es necesario un terciario para eliminar la presencia de sales disueltas. En esto se diferencia con respecto a las aguas tratadas en otras EDAR de la isla donde la desalinización se hace necesaria debido a que el origen del agua es de planta desaladora de mar o de pozos salinizados.

- **Línea de fangos.**

, A las aguas se les retiran los sólidos en suspensión en varias etapas del proceso de depuración de aguas residuales. En el caso de la EDAR de Valsequillo, la recuperación y tratamiento de los fangos es muy sencilla y se obtiene muy poca cantidad. La obtención de los fangos se produce por dos fenómenos; el primero de ellos por un proceso meramente físico consecuencia de la separación de parte de los sólidos debido a la densidad. Una segunda procedencia es el de la materia orgánica que ha sido metabolizada y transformada en materia viva, consecuencia de la floculación, que permite separar los flóculos de la materia orgánica, materia viva y materia inorgánica en los decantadores secundarios (Hernández A., *et al.* 1996).

Antes de su retirada a vertedero, destino de los fangos de la EDAR, se procede al espesamiento y deshidratación de estos.

A continuación, se representa un esquema de los tratamientos llevados a cabo en la EDAR de Valsequillo.

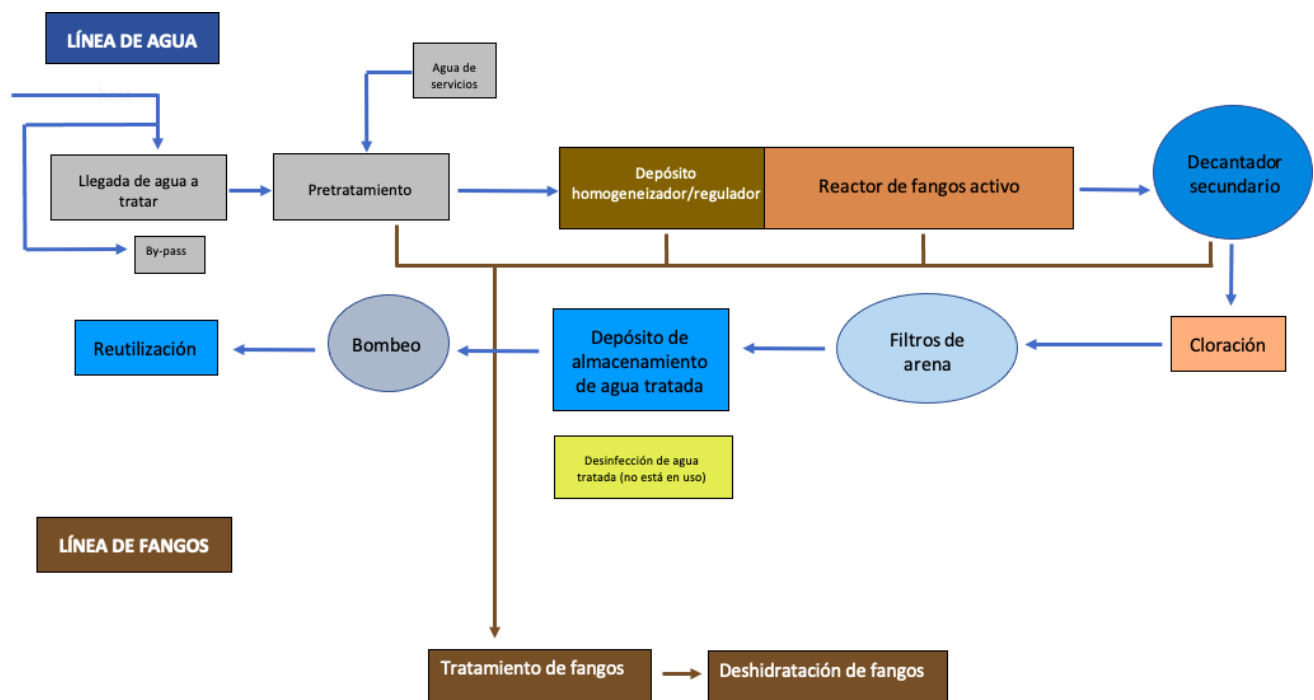


Figura 6: Esquema de la EDAR de Valsequillo.

### **2.2.1. La reutilización agrícola de las aguas depuradas.**

Como se comentó previamente, la escasez de agua es un problema medioambiental a nivel mundial, con implicaciones también en el ámbito insular y local, donde la sobreexplotación del acuífero ha traído consigo un descenso considerable de la cantidad de agua subterránea y sobre todo en las cotas más bajas, donde el efecto de intrusión marina ha salinizado el acuífero.

Ante este panorama la reutilización del agua depurada es una fuente alternativa que contribuye a reducir el déficit hídrico existente, a disminuir la sobreexplotación del acuífero, a evitar contaminaciones con vertidos y, sobre todo, a contribuir al riego en aquellos cultivos que sean susceptibles de ser regados, evitando con ello la desaparición de la actividad agrícola municipal.

- **Aspectos agrícolas y sanitarios del riego con aguas depuradas.**

- **Efectos del agua depurada en el suelo agrícola.**

El riego continuado con aguas depuradas puede influir en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos agrícolas Marrero, A y Palacios, P., 1996).

Con respecto a las propiedades físicas, se observa que una presencia de sodio en el agua depurada favorece el efecto dispersante (tendente a la degradación de la estructura del suelo). En este sentido, el parámetro SAR (Relación de Adsorción de Sodio), relaciona a los tres cationes mayoritarios (Ca, Mg y Na), ya que el efecto provocado por el sodio es contrarrestado por la presencia de Ca y Mg (cationes floclulantes). Por ello es necesario estudiar la evolución de este parámetro, que se utiliza para cuantificar el fenómeno de degradación de la estructura. Además, la fuerza iónica de las soluciones del suelo tiene un efecto indirectamente proporcional al efecto provocado por un SAR elevado, por lo que los parámetros SAR y la Conductividad Eléctrica (CE) deben ser interpretados conjuntamente para estimar los riesgos sobre la estructura del suelo (Oster y Schroer, 1979).

Como medida correctora para paliar la concentración del sodio y su efecto sobre la estructura, se podría pensar en la aportación de yeso agrícola y el aporte de materia orgánica, pues ambas prácticas agrícolas favorecen la estabilidad de la estructura del suelo.

En cuanto a las propiedades químicas, cabe destacar el aporte de nutrientes cuando se riega con estas aguas. Se debe tener en cuenta los elementos minerales aportados a la hora de diseñar un programa de fertilización desde el punto de vista nutritivo y desde el punto de coste. Efectivamente, el uso de estas aguas supone un ahorro significativo en la fertilización y un mal cálculo de las cantidades a añadir puede ocasionar un daño irreversible en el suelo, en la productividad de los cultivos o en el medio subyacente que recibe los posibles excesos.

Con respecto a las propiedades microbiológicas, según Marrero y Palacios (1996) podrían darse dos efectos. Por un lado, la pérdida de permeabilidad producida por la presencia de sodio crearía unas condiciones anaeróbicas que dificultaría el desarrollo de los microorganismos y, por otro lado, la adición de materia orgánica que contiene el agua depurada favorecería el desarrollo de los microorganismos del suelo. Un efecto observado muy importante es el aumento de micorrizas (Safir, 1990), hecho que influye positivamente en el crecimiento de las plantas (Nicolás *et al.*, 2015; Vicente-Sánchez *et al.*, 2014), incrementa su capacidad de extracción de agua y nutrientes (Schnepf *et al.*, 2008; Sánchez-Blanco *et al.*, 2004), su tolerancia frente a estres bióticos y abióticos (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007) y contribuye a la biodegradación de compuestos tóxicos (Huang *et al.*, 2007).

#### ➤ **Efecto del agua depurada en los cultivos.**

Existen guías para la interpretación de la calidad de las aguas depuradas utilizadas en agricultura (Pescod, 1992; Westcot, 1997) pues desde hace tiempo se conoce que el uso de agua depurada para riego de los cultivos lleva aparejado ciertas limitaciones y algunas ventajas. Es necesario conocerlas para su buen manejo agronómico. Entre las ventajas se encuentran el aporte de nutrientes con el riego y entre las desventajas la alta concentración de sales que se pueden acumular y la posible presencia de elementos tóxicos.

En el caso de la EDAR de Valsequillo, al carecer de industrias u otros agentes contaminantes presentes en el municipio, el agua producto carece de elementos tóxicos que puedan impedir su reutilización.

A continuación, se describen los elementos nutritivos que pueden tener mayor importancia en la fertilización de los cultivos (Marrero, A. y Palacios, P., 1996).

➤ **Nitrógeno.**

La mayoría de las aguas depuradas presentan altos valores en nitrógeno. Dependiendo de la zona y del agua se pueden encontrar valores comprendidos entre 10 y 40 mg/L de nitrógeno total por litro de agua. La forma en que se encuentra este elemento nutritivo es en formas amoniacales y en menor proporción en forma nítrica. Los nitritos son casi inexistentes.

Para muchos cultivos el aporte de nitrógeno realizado con el riego con agua depurada puede ser del mismo orden o incluso superior al aportado por las prácticas habituales de la zona .

➤ **Fósforo.**

A diferencia del nitrógeno, el fósforo en este tipo de aguas presenta concentraciones variables, pudiendo encontrar valores comprendidos entre 5-20 mg/L.

Estos valores son suficientes para cubrir las necesidades de fósforo de la mayoría de los cultivos relacionados en este trabajo. Sin embargo, es preciso tomar precauciones ya que es conocida la complejidad de absorción de este elemento en función de la forma química en la que se encuentra y las condiciones edáficas. Con respecto a la sobrefertilización de este elemento, se debe tener en cuenta la interacción que puede existir con otros elementos como el hierro y el zinc, pudiendo producir carencia de estos últimos (Marrero, A. y Palacios, P., 1996).

➤ **Potasio.**

En las aguas depuradas la concentración de potasio está entre los 10-40 mg/L. Normalmente el consumo de este nutriente por parte de los cultivos es mayor y es necesario el aporte extra. Al existir un consumo de lujo de este elemento, la posibilidad de efectos negativos es prácticamente inexistente.

- **Efecto de la salinidad.**

En ocasiones las aguas depuradas presentan altos contenidos de sales disueltas, consecuencia directa de la mala calidad de las aguas de abasto público. Este hecho es bastante frecuente en los municipios costeros de la isla, donde se utilizan aguas de procedencia salina, bien agua de mar o agua de pozos salobres. Sin embargo, no es el caso de Valsequillo, donde el agua que se suministra para el consumo tiene su procedencia en pozos y galerías de altísima calidad.

El principal efecto del riego con agua de alto contenido en sales es la dificultad de las plantas para absorber el agua. Pueden también producirse efectos tóxicos de ciertos iones, que dependerán de la tolerancia de los cultivos (Marrero, A y Palacios, P., 1.996). Los iones que crean toxicidades específicas más frecuentes son el cloruro, el sodio y el boro. Es importante destacar la interacción de la presencia de estos iones con otros elementos nutritivos, ya que se pueden producir desequilibrios, sobretodo de calcio y potasio.

- ✓ **Efecto del agua depurada en las instalaciones de riego.**

Las aguas depuradas no presentan un tratamiento distinto a las aguas blancas en su efecto sobre las instalaciones de riego. En ocasiones suelen presentar riesgos físicos (material en suspensión), químicos (pHs básicos que favorecen la precipitación) y microbiológicos (crecimiento de mucílago). Como características comunes, las aguas depuradas tienen contenidos importantes de materia orgánica en suspensión que han de ser eliminadas por filtración y/o decantación, especialmente si se utilizan sistemas de riego localizado.

- ✓ **Aspectos sanitarios.**

La reutilización de las aguas depuradas está sujeta al Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, publicada en el BOE 294 de fecha 8 de diciembre de 2007. En el citado Real Decreto se establecen las condiciones de uso para diferentes finalidades, entre las que se encuentra el uso agrícola y en particular el uso que se le pretende dar al agua depurada de la EDAR de Valsequillo.

Se presenta como anexo la tabla publicada en el BOE en la cual se recogen las características que debe reunir el agua depurada para ser reutilizada. El uso que se le pretende dar y los cultivos susceptibles de ser regados se corresponde con el apartado 2.3. subapartados a y c.

A continuación, se presentan los parámetros químicos que debe reunir el agua depurada para su reutilización según lo publicado en el mismo Real Decreto. Como se puede observar, son pocos los parámetros agronómicos que se exponen, e incluso poco adaptados a las interpretaciones de las calidades agronómicas de Canarias. Es por ello que se debe valorar e interpretar su uso con las particularidades de calidad de agua, cultivos y suelos de las islas.

Tabla 3: Valores recomendados para la reutilización de aguas depuradas según el R. D. 1.620/2007.

Parámetro	Valor
Conductividad a 25 °C (dS/m)	3,8
SAR (meq/l)	6
mg/l	
Boro	0,5
Arsénico	0,1
Berilio	0,1
Cadmio	0,01
Cobalto	0,05
Cromo	0,1
Cobre	0,2
Manganeso	0,2
Molibdeno	0,01
Níquel	0,2
Selenio	0,02
Vanadio	0,1

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

#### **3.1. LA CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA.**

Según los valores expuestos en apartados anteriores se puede clasificar al municipio de Valsequillo de Gran Canaria según la siguiente tabla.



En Valsequillo, según este índice, el valor de A es de 10,23, por lo que estaríamos hablando de un clima general con tendencia a la sequedad. No obstante, si se desglosa por meses la situación es bien distinta, tal y como se observa en la tabla siguiente de caracterización mensual según el índice de aridez de Martonne:

Tabla 4: Caracterización climática mensual del municipio de Valsequillo según el Índice de aridez de Martonne.

Mes	Índice	Clasificación
Enero	26,62	Humedad suficiente
Febrero	10,96	Tendencia a la sequedad
Marzo	17,26	
Abril	7,92	Aridez
Mayo	1,81	Hiperárido
Junio	0,27	Hiperárido
Julio	0,02	Hiperárido
Agosto	0,3	Hiperárido
Septiembre	3,78	Hiperárido
Octubre	8,07	Aridez
Noviembre	13,42	Tendencia a la sequedad
Diciembre	32,33	Humedad suficiente
Valor Medio (A)	10,23	

### 3.2. ANALÍTICA DE LAS AGUAS.

Los resultados de la analítica tanto del agua depurada producto para su reutilización y la del agua blanca de abasto se presentan a continuación.

Durante todo el trabajo se ha insistido en la buena calidad del agua de abasto del municipio y, como consecuencia directa, la del agua producto después de la depuración. Se presenta en tabla adjunta los resultados analíticos de las dos aguas.

Se ha utilizado el mismo formato de presentación que el propuesto por el Real Decreto 1620/2007 (2007), aumentado en los parámetros químicos analizados y facilitados por el Laboratorio, y que tienen importancia desde la interpretación agronómica de las aguas.

Tabla 5: Resultados analítica agua depurada y de agua blanca.

Parámetro	Agua depurada	Agua blanca
	Valor	
Conductividad a 25 °C (dS/m)	1	0,2
SAR (meq/l)	8,36	3,19
pH	8,2	8,1
CSR (meq/l)	2,47	1,16
mg/l		
Boro	0,07	<0,02
Arsénico	-	-
Berilio	-	-
Cadmio	-	-
Cobalto	-	-
Cromo	-	-
Cobre	-	-
Manganeso	-	-
Molibdeno	-	-
Níquel	-	-
Selenio	-	-
Vanadio	-	-
Calcio	23	5,2
Magnesio	<5	<5
Sodio	170	35
Potasio	35	7,3
Bicarbonato	240	90
Carbonato	<20	<20
Cloruro	150	12
Sulfatos	50	6,2
Nitratos	<5	7,4
°F		
Dureza	77	23

Se puede observar que, al no contar el municipio con industrias ni fábricas que pudieran verter metales pesados u otros elementos químicos de interés contaminante, los resultados expuestos son los que aparecen normalmente en un análisis de agua para riego con fines agronómicos.

La comparación entre las dos aguas y su interpretación agronómica para su uso en Valsequillo se comenta a continuación, siguiendo las indicaciones propuestas por Cánovas, J. (1980).

### 3.2.1 Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica mide la concentración de sales en el agua de riego. De forma general, se pueden establecer los siguientes valores para su interpretación para las aguas de Canarias. Se quiere hacer esta advertencia al considerar que la bibliografía existente al respecto es bastante más restringente con estos valores.

Tabla 6: Clasificación del agua de riego según Conductividad Eléctrica.

Valor C.E:	Uso
0-1.000	Excelente
1.000-3.000	Buena marginal
>3.000	Inaceptable

Siguiendo este criterio, se deduce que el agua de abasto se clasifica como excelente y la depurada como buena /marginal.

### 3.2.2. SAR (Relación de Absorción de Sodio).

Como se comentó en anteriores apartados, el SAR nos da idea del riesgo de sodificación del complejo de cambio (degradación de la estructura del suelo). El índice SAR hace referencia a la proporción relativa en que se encuentra el ion sodio y los iones calcio y magnesio. Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Utilizando la interpretación de Oster y Schroer (1979) esta agua con SAR 8,6 y CE 1 dS/m presenta un riesgo ligero o moderado de reducir la tasa de infiltración. Otros autores mencionan el riesgo a partir de valores superiores a 10, mencionando que se puede no recomendar su uso ya que existe un alto riesgo de alcalinización. Si bien según el R.D. 1690/2007 es más restrictivo y fija este valor en 6, es necesario considerar que los avances en el conocimiento de los efectos de este parámetro exigen una interpretación conjunta con los valores de la salinidad del agua de riego empleada, añadiendo para la interpretación el contenido en Ca de los suelos regados. El agua blanca con SAR de 3,19, no presentaría riesgo alguno para su uso. Por tanto, ambas calidades de agua podrían ser utilizadas.

### 3.2.3. C.S.R. (Carbonato Sódico Residual). Índice de Eaton.

Según Cánovas, J. (1980), este parámetro nos da idea de la acción degradante del agua en el suelo. La fórmula que se emplea para su cálculo es:

$$CSR = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++}); \text{ expresados en meq/L.}$$

Según el índice C.S.R. las aguas se clasifican en:

Tabla 7: Clasificación del agua de riego según Índice de Eaton.

Valor CSR	Uso
< 1,25	Recomendable
1,25-2,50	Poco recomendable
>2,5	No recomendable

Según este parámetro, que es bastante restrictivo, el agua blanca se clasifica como recomendable, mientras que la depurada la clasifica como poco recomendable. Este aspecto es mejorable con un buen manejo del agua depurada, por lo que no supondría ningún inconveniente para su reutilización.

### 3.2.4. Criterios de fitotoxicidad.

Para evaluar el riesgo de inducir a toxicidad de un agua de riego, se han utilizado las recomendaciones de Ayers y Westcot (1985) en cuanto a sodio, cloruros y boro.

Tabla 8: Clasificación del agua de riego según iones específicos.

Ion	Inexistente	Problema creciente	Problema grave
Sodio (meq/l)	< 3	3 – 9	>9
Cloruro(meq/l)	< 4	4 - 10	>10
Boro (mg/l)	< 0,7	0,7 – 2,0	>2

Las toxicidades específicas que presenta el agua blanca son inexistentes para los tres iones, mientras que para el agua depurada es de problema creciente para los iones sodio y cloruros e inexistente para el boro. Estos valores no limitan su uso, pero sí es aconsejable un buen manejo de estas, sobre todo en función del cultivo al que vaya dirigida.

### 3.2.5. Dureza.

Cánovas, J. (1980) comenta que este índice se refiere al contenido de calcio en el agua y es importante su conocimiento, sobre todo para evaluar la precipitación del elemento y su influencia directa en la obturación de los goteros.

La fórmula que se emplea para su cálculo es:

$$\text{Dureza} = [(Ca^{++}) \times 2,5 + [Mg^{++}] \times 4,2)/10; \text{ expresado en mg/L}$$

La tabla para su interpretación en grados franceses (°F) es la siguiente:

Tabla 9: Clasificación del agua de riego según su dureza.

Tipo de aguas	Valor de °F
Muy dulce	<7
Dulce	7-14
Medianamente dulce	14-22
Medianamente dura	22-32
Dura	32-54
Muy dura	>54

Como se puede observar, ambas aguas están dentro del apartado muy dulce.

### 3.2.6. Coeficiente Alcalimétrico (Índice de Scott).

Este índice valora la calidad agronómica del agua en función de las concentraciones entre iones cloruros, sulfatos y sodio, pudiendo definirse como la altura en pulgadas que alcanzaría el agua al evaporarse en un terreno y que impediría el desarrollo normal de las especies vegetales más sensibles (Urbano, P., 1989).

Para su cálculo se utilizan diferentes fórmulas en función del contenido de sodio.

Para su interpretación se usan los siguientes valores:

Tabla 10: Clasificación del agua de riego según índice de Scott.

Calidad de aguas	Valor de K
Buena (no es necesario toma preocupaciones)	>18
Tolerable (emplear con precauciones)	6 -18
Mediocre (utilizada solo en suelos con muy buen drenaje)	1,2 -6
Mala (agua no utilizable)	< 1,2

Según estos, se obtiene que el agua blanca se clasifica como buena al obtenerse un valor de 275,83, mientras que para el agua depurada el valor que se obtiene es de 6,75, clasificándose como tolerable.

### 3.3. VALORES ET<sub>o</sub>.

Utilizando los datos agrometeorológicos de la estación de Arico, por similitud al municipio de Valsequillo como se explicó en apartados anteriores, y aplicando el método de Penman Monteith,

se han obtenido los valores que se exponen a continuación de  $ET_o$ , válidos para las dos zonas potencialmente regables.

Se observa, como es obvio, la relación que existe entre el mes del año y la  $ET_o$ .

Tabla 11: Valores de  $ET_o$  por mes en la zona de influencia de riego con agua depurada.

Mes	$ET_o$
Enero	2,13
Febrero	2,24
Marzo	2,85
Abril	2,8
Mayo	3,9
Junio	3,85
Julio	5
Agosto	4,9
Septiembre	3,6
Octubre	2,9
Noviembre	2,6
Diciembre	1,7

### 3.4. VALORES $K_c$ .

Los valores obtenidos de  $K_c$  para los diferentes cultivos y meses han sido extraídos e interpolados de distintas publicaciones canarias (Agrocabildo, 2020) para adaptarlos a la comarca de Valsequillo. En esta bibliografía se encuentran valores anómalos, como por ejemplo las elevadas  $K_c$  para el millo (que deben coincidir con el periodo crítico de necesidades) durante 6 meses de cultivo, por lo que se recomienda no utilizar estos valores sin revisarlos y adaptarlos a la fenología concreta de la variedad cultivada. Como es lógico, su valor para frutales varía poco a lo largo del año ya que, al tratarse de árboles adultos en producción, en su mayoría no experimentan grandes cambios.

Tabla 12: Valores de  $K_c$  por mes para los distintos cultivos.

Mes Cultivo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Olivo	0,21	0,28	0,28	0,28	0,42	0,45	0,45	0,25	0,1	0,1	0,1	0,21
Aguacate/Mango	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,5	0,45	0,45	0,47
Cítricos	0,63	0,62	0,63	0,59	0,52	0,59	0,65	0,75	0,7	0,8	0,69	0,6
Viña	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,2	0,15	0,15	0,15	0,3	0,3
Millo	0,25	0,25	0,25	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,75	0,25	0,25
Frutales	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45

### 3.5. DOTACIONES.

Las dotaciones de agua de riego obtenidas para los cultivos más representativos en la zona de influencia son las que se exponen a continuación. Cabe resaltar que estas dotaciones se corresponden con un desarrollo y producción óptima de cultivo.

Si se comparan las dotaciones obtenidas con las propuestas con el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, teniendo en cuenta que la mayoría de las explotaciones que se pretenden regar están por debajo de la cota 500 m.s.n.m y una orientación sureste, se observa cierta concordancia. Cabe destacar la dotación de riego de los frutales templados, que según la propuesta del Consejo lo sitúa en cotas superiores y como es lógico sus necesidades de riego son menores. Sin embargo, en el caso de Valsequillo en la cuenca sur baja existen frutales templados (incluidos los almendros) de nuevas variedades menos exigentes en horas frío.

Tabla 13: Dotación de riego con agua depurada para los distintos cultivos.

Cultivo	Dotación (m <sup>3</sup> /ha)
Aguacate	5.797
Almendros	5.435
Aloe	4.035
Cítricos	7.643
Higuera	4.035
Mango	5.797
Millo	8.180
Olivo	5.797
Templados	5.435
Viña	3.645

#### 3.5.1. Zona Norte Baja.

Como se puede observar en la tabla, el consumo de agua depurada en esta cuenca regable es de 287.775 m<sup>3</sup>. El mayor consumo se corresponde con los meses secos del verano, y por cultivos son los cítricos, aguacates y olivos, el primero de ellos por la mayor superficie que ocupa.

Tabla 14: Dotación de riego con agua depurada por cultivo/mes en la zona de influencia baja norte del municipio.

Cultivo \ Mes	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	Total
Aguacate	1214	1537	2437	2576	4075	3893	5295	5120	3310	2479	2151	1518	35535
Almendro	141	134	189	202	291	309	414	406	289	216	188	127	2906
Cítricos	9901	9256	13248	11796	14964	16220	23981	27117	17995	17119	12810	7526	181934
Higuera	77	73	103	156	225	215	288	282	201	104	91	61	1876
Mango	13	17	26	28	44	42	56	55	36	27	23	16	383
Millo	165	157	221	210	1333	1274	1709	1675	1191	676	195	132	8943
Olivo	670	849	1196	1137	2454	2512	3371	1835	522	434	377	534	15894
Subtropicales	450	570	904	955	1513	1445	1940	1900	1228	920	798	563	13190
Templado hueso	145	138	194	207	298	317	425	416	296	222	192	130	2981
Templado otros	15	621	875	936	1347	1430	1918	1880	1337	1001	669	587	13484
Templado pepitas	60	57	80	86	123	131	176	172	122	92	80	54	1233
Viña	770	731	1030	980	1410	1347	803	590	420	350	606	410	9448
<b>Total</b>	<b>14261</b>	<b>14141</b>	<b>20504</b>	<b>19268</b>	<b>28078</b>	<b>29135</b>	<b>40308</b>	<b>41452</b>	<b>26946</b>	<b>23641</b>	<b>18381</b>	<b>11660</b>	<b>287775</b>

### 3.5.2. Zona Sur Baja.

Al igual que la otra cuenca en la tabla que se presenta a continuación, el consumo de agua depurada es de 273.771 m<sup>3</sup>. Se observa que el mayor consumo se corresponde también con los meses de verano, y por cultivos son los cítricos y aguacates. El primero de ellos por la mayor superficie que ocupa. Sin embargo, en esta zona se cultivan frutales templados y almendros además de aguacates, que están experimentando un gran auge.

Tabla 15: Dotación de riego con agua depurada por cultivo/mes en la zona de influencia baja sur del municipio.

Cultivo \ Mes	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	Total
Aguacate	963	1220	1933	2042	3233	3089	4145	4062	2626	1967	1707	1205	28194
Almendro	1556	1478	2081	2226	3205	3401	4565	4474	3181	2383	2067	1397	32016
Aloe	64	61	85	123	187	178	239	234	167	87	75	51	1559
Cítricos	8187	7653	10954	9754	12373	13411	19828	22421	14878	14154	10592	6223	150429
Higuera	2	2	3	4	6	5	7	7	5	3	2	2	48
Mango	114	144	228	241	381	364	489	479	310	232	201	142	3325
Millo	109	104	146	139	882	843	1131	1108	788	447	129	87	5915
Olivo	384	486	685	651	1405	1438	1930	1051	299	249	216	306	9099
Subtropicales otros	37	47	75	79	125	119	160	157	101	76	66	46	1089
Templado hueso	112	107	151	161	232	246	330	324	230	172	150	101	2317
Templado otros	1212	1151	1622	1735	2497	2650	3557	3486	2478	1857	1611	1088	24947
Viña	1214	1153	1624	1544	2222	2123	1266	931	662	551	956	646	14833
<b>Total</b>	<b>13954</b>	<b>13605</b>	<b>19588</b>	<b>18707</b>	<b>26749</b>	<b>27871</b>	<b>37650</b>	<b>38735</b>	<b>25726</b>	<b>22178</b>	<b>17773</b>	<b>11294</b>	<b>273771</b>



### 3.6. SUPERFICIES REGABLES.

Las superficies regables y de los cultivos que corresponde a cada una de las zonas descritas en apartados anteriores se presentan a continuación. Casualmente, coinciden en superficie en las dos cuencas. Cabe destacar que los cultivos seleccionados para ser regados son los que se consideran en el Real Decreto relacionados en el apartado 2.3. subapartado a y c.

Se podría haber aumentado estas superficies si se incluyeran las superficies correspondientes a barbecho y a superficie de cultivo abandonada recientemente y ponerlas en producción con cultivos susceptibles de ser regados con agua depurada.

El total de superficie a regar con agua depurada es de 89 hectáreas, buena parte de la superficie agrícola total de la parte baja del municipio.

Destacan los cultivos de cítricos, aguacates y olivos en la cuenca norte y la superficie que ocupan los cítricos, almendros, frutales templados, aguacate y viña en la cuenca sur.

Tabla 16: Superficie ocupada por los cultivos regados con agua depurada.

Cultivo	Zona norte (ha)	Zona Sur (ha)	Total (ha)
Aguacate	6,1	4,9	11
Almendro	0,1	5,9	6
Aloe	-	0,4	0,4
Aromáticas	-	0,2	0,2
Cítricos	23,8	19,7	43,5
Higuera	0,5	-	0,5
Mango	0,1	0,6	0,7
Millo	1	0,7	1,7
Olivo	4,8	2,8	7,6
Subtropicales otros	2,3	0,2	2,5
Templado hueso	0,5	0,4	0,9
Templado otros	2,5	4,6	7,1
Templado pepitas	0,2	-	0,2
Viña	2,6	4,1	6,7
Total	44,5	44,5	89

## **CAPITULO IV. CONCLUSIÓN.**

### **4.1. CONCLUSIONES.**

El agua en Canarias es un bien escaso, y concretamente en el municipio de Valsequillo la disponibilidad y acceso a la misma presenta muchas dificultades. Es por ello por lo que la reutilización de aguas depuradas locales o procedente de otros municipios para regar los cultivos sea una imperiosa necesidad.

Dentro de este escenario y como resultados del presente trabajo, se exponen las siguientes conclusiones:

- ✓ El caudal de agua de procedencia de pozos, galerías y nacientes en el término municipal es cada vez menor.
- ✓ El abasto público municipal es prioritario al consumo agrícola.
- ✓ Existe una competencia por la regulación/administración entre los propietarios de aguas, distribuidores y consumidores agrícolas.
- ✓ El no disponer de garantías de suministro de agua para riego trae consigo un abandono de la actividad agrícola. Con el uso del agua depurada se podría regar un total de 89 hectáreas.
- ✓ En el municipio existe un bombeo y depósitos reguladores, en desuso, que pueden suministrar y almacenar agua depurada para reutilizarla en el riego agrícola. Sería necesario acometer su actualización.
- ✓ El agua depurada se podría reutilizar en cultivos agrícolas presentes en el municipio sin riesgo alguno para el cultivo, suelo, operarios o medio ambiente. Los cultivos seleccionados en el presente trabajo permiten el uso de riego con aguas depuradas.
- ✓ La propuesta de uso del agua depurada en la zona de influencia de riego liberaría aguas blancas para las zonas altas del municipio y para cultivos para los cuales no está recomendado su uso.
- ✓ Para el uso agronómico de las aguas depuradas habría que formar, orientar y asesorar a los agricultores sobre el manejo de esta.
- ✓ Las normativas y recomendaciones de uso del agua regenerada en cuanto a su calidad química agronómica necesitan de una revisión para la aplicación a Canarias.
- ✓ El volumen de agua depurada que se genera en la actualidad en el municipio ( $Q_{pt} = 170.820 \text{ m}^3/\text{año}$ ;  $Q_{pr} = 91.980 \text{ m}^3/\text{año}$ ) no cubre las necesidades de consumo para riego

( $Q_c = 561.546 \text{ m}^3/\text{año}$ ).

- ✓ Las dotaciones de agua para riego obtenidas son superiores a las habituales de la zona, pero teniendo en cuenta una aportación extra como fracción de lavado, se consideran válidas.
- ✓ Para aumentar el caudal producido de agua depurada a la capacidad teórica del diseño de la EDAR habría que revisar y reparar la red de saneamiento municipal. Asimismo, se debería vigilar los vertidos a la red que dificultan el proceso de depuración y afectan a la calidad del agua final.
- ✓ Debido a las dotaciones y consumo total de agua en la zona objeto de estudio, y dado que la capacidad teórica y/o real de producción de agua depurada municipal es baja, se propone una conexión a la Red Insular de Aguas Depuradas y utilizar el bombeo existente para suministrar de agua de riego a los cultivos propuestos en el presente estudio.
- ✓ Dada la dispersión de los núcleos poblacionales dentro del municipio, y debido a que los colectores de la red de saneamiento no suministran de agua a la EDAR municipal, se propone diseñar modelos de pequeñas plantas de depuración in situ para abastecer a los agricultores aguas abajo de las mismas.
- ✓ Valsequillo no dispone de una estación agrometeorológica completa para su utilización con fines agronómicos (necesidades de agua para riego, predicción de ataque de plagas y/o enfermedades, incendios forestales...), y con este trabajo se demuestra su necesidad para vanzar hacia un modelo de agricultura inteligente que optimice la gestión de recursos.

## **CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA.**

### **5.1. BIBLIOGRAFÍA.**

Albiac, J., Sánchez-Soriano, J., y Dinar, A. (2008). Game theory: A useful approach for policy evaluation in natural resources and the environment. In Game theory and policy making in Natural Resources and the environment.

Allen, R. (1990). REF-ET Reference Evapotranspiration Calculator V. 2.0. Operations Manual, 37.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO. Roma.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Número 56. Roma.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). Water Quality for Agriculture. Ed. FAO. Irrigation and drainage. Paper nº 29. Rev.1.
- Bezerra, B. G., Silva, B. B. D., Bezerra, J. R. C., y Brandão, Z. N. (2010). Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. Revista Brasileira de Meteorologia, 25.
- Cánovas, J. (1980). Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. 2ª Edición. SEA. Ed. Ministerio Agricultura. Madrid.
- Casallas-Garzón, E. N., y Gutiérrez-Malaxechebarría, Á. M. (2019). Caracterización de usos del recurso hídrico en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Tecnología y ciencias del agua, 10.
- Castel J.R., (2005). Evapotranspiración, Balance de energía y coeficiente de cultivo de plantaciones de cítrico en Valencia. Ministerio de Educación y Ciencia, INIA, Madrid, ESP, 9 p.
- Cesar, V. C. (2019). Transpiración. Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa Educativo: Ingeniero Agrónomo en Floricultura- Universidad autónoma del estado de México.
- Cisneros, R. (2003). Riego y drenaje. Centro de investigación y estudios de posgrado y área agrogeodésica. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. México.
- Da Silva, L. D., Folegatti, M. V., y Villa Nova, N. A. (2005). Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. Engenharia Agrícola, 25.
- Fuentes, J. P., Flury, M., Huggins, D. R., y Bezdicek, D. F. (2003). Soil water and nitrogen

- dynamics in dryland cropping systems of Washington State, USA. *Soil and Tillage Research*, 71.
- Garatuza-Payan, J., Shuttleworth, W. J., Encinas, D., *et al.* (1998). Measurement and modelling evaporation for irrigated crops in north-west Mexico. *Hydrological processes*, 12.
- Hernández, A., Hernández, A., y Galán, P. (1996). *Manual de depuración de Uralita*. Editorial Paraninfo.
- Hernández, A. (1997). Saneamiento y alcantarillado. Vertidos residuales. Colección Senior, nº 7. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Hernández, J.M. y Pérez, A., (1974). Consideraciones sobre las necesidades del riego en aguacate en las Islas Canarias. *Revista Agropecuaria* nº 512.
- Huang, H., Zhang, S., Chen, B., Wu, N., Shan, X., and Christy, P., 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism of atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil, *Environmental Pollution*, 146.2.
- Huo, Zailin, Xiaoqin Dai, Shaoyuan Feng, Shaozhong Kang, and Guanhua Huang. (2013) "Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China." *Journal of Hydrology* 492.
- ISTAC (2020). Instituto Canario de Estadística (ISTAC). Superficie, perímetro, longitud de costa, altitud y distancia a la capital por municipios de Canarias. Recuperado de <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi-istac/tabla.do>.
- Maddocks, A., Young, R. S., y Reig, P. (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040.
- Marrero, A, y Palacios, P. (1996). *Depuración y reutilización de aguas en Gran Canaria. Generalidades*. Consorcio Insular de Aprovechamientos de Aguas Depuradas de Gran Canaria.
- McAfee, S.A. (2013). Methodological differences in projected potential evapotranspiration. *Climatic Change*, 120(4).

- Oster, J.D. y Schroer F.W., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci Soc Am J* 43.
- Ortega-Farias, S., Irmak, S., y Cuenca, R. H. (2009). Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. *Irrigat. Sci.* 28.
- Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 47.
- Potosky, D., y Ramakrishna, H. V. (2002). The moderating role of updating climate perceptions in the relationship between goal orientation, self-efficacy, and job performance. *Human performance*, 15.
- Pozo M., Azcón-Aguilar C., 2007, Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant, Biology*, 10.
- R.D. 1620 (2007). Ministerio de La Presidencia, Por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *BOE* 294 de fecha 8 de diciembre de 2007.
- Rocha, O. C., Guerra, A. F., y Azevedo, H. M. D. (2003). Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7.
- Sánchez-Blanco, M.J., Ferrández, T., Morales, M.A., Morte, A, Alarcón, J.J., 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* underdrought conditions, *Journal of Plant Physiology*, 161.
- Schnepf, A., Roose, T., and Schweiger, P., 2008. Growth model for arbuscular mycorrhizal fungi, *Journal of the Royal Society Interface*, 5.
- Sierra, J., y Peñalver, L. (1989). La reutilización de las aguas residuales. Acondicionamiento y uso. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.
- Sumaila, U. R., Dinar, A., y Albiac, J. (2009). Game theoretic applications to environmental and natural resource problems. *Environment and Development Economics*, 14.
- Urbano, P. (1989). Tratado de Fitotecnia general. Ed Mundi-prensa. Madrid.

U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) Norma Riverside para clasificación de Aguas.

Wang, W., Xing, W., y Shao, Q. (2015). How large are uncertainties in future projection of reference evapotranspiration through different approaches?. Journal of Hydrology, 524.

Westcot, D.W., 1997. Quality control of wastewater for irrigated crop production. Water reports-10. Food and Agriculture Organization of the United Nations

WWAP, U. (2014). The United Nations world water development report 2014: water and energy. United Nations, Paris.

## **CAPÍTULO VI. ANEXOS.**

### **ANEXO I: Cálculo ET<sub>0</sub> por el método PENMAN-MONTEITH.**

Así, el modelo Penman-Monteith se basa sobre parámetros meteorológicos y del suelo, que se expresan con las siguientes ecuaciones:

- **Resistencia aerodinámica.**

$$r_a = \frac{\ln \left[ \frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[ \frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z}$$

Donde:

$r_a$  resistencia aerodinámica [ $s\ m^{-1}$ ].

$z_m$  altura de medición del viento [m].

$z_h$  altura de medición de la humedad [m].

$d$  plano de altura de desplazamiento cero [m].

$z_{om}$  longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia del momento [m].

$z_{oh}$  longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor de agua [m].

K constante de Von Karman = 0.41.

$u_z$  velocidad del viento a la altura  $z$  [ $\text{m s}^{-1}$ ].

- **Resistencia total.**

Según la FAO (2006), este parámetro define la resistencia relativa al flujo de agua evaporada a través del cultivo y el suelo. La ecuación para estimar esa resistencia es la siguiente:

$$r_s = \frac{r_1}{IAF_{activo}}$$

$r_s$  resistencia total [ $\text{s m}^{-1}$ ].

$r_1$  resistencia estomatica total de una hoja bien iluminada [ $\text{s m}^{-1}$ ].

$IAF$  índice activo de área foliar [ $\text{m}^2$  (área de la hoja) por  $\text{m}^2$  (superficie del suelo)].

- **La constante psicrométrica.**

La constante psicrométrica es un parámetro que tiene relación con la altitud es decir de la presión atmosférica correspondiente y la elevación del nivel cero del mar. La función para obtener ese parámetro es:

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \text{ en } kPa^\circ C^{-1}$$

$P$  es la presión atmosférica obtenida en función de la elevación del nivel del mar con la ecuación:

$$P = 101.3 \frac{293 - 0.0065 z}{293}^{5.26} \text{ en } kPa$$

$z$  es la elevación sobre el nivel del mar [ $\text{m}$ ].

Por lo tanto, la simplificación de la ecuación se escribe como:

$$ET_o = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} \mu_2 (e_s - e_a) \right]$$

Donde:



$ET_o$  Evapotranspiración de referencia [mm/día].

$(e_s - e_a)$  es el déficit de presión de vapor al aire [mb].

$\gamma^*$  es la constante psicrométrica modificada [mbar/°C].

$\gamma$  es la constante psicrométrica [mbar/°C].

$e_s$  presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire [mb].

$e_a$  presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío [mb].

$L$  calor latente de vaporización [cal/gr].

$\Delta$  es el pendiente de la curva de presión de vapor de saturación a una temperatura definida [mbar/°C].

$T$  temperatura promedio [°C].

$R_n$  define la radiación neta.

$G$  representa el flujo de calor en el suelo [cal/cm<sup>2</sup>].

- **La temperatura del aire.**

Es otro parámetro que entra en la ecuación de Penman-Monteith. Este parámetro representa la temperatura promedio entre la temperatura máxima diaria del aire  $T_{max}$  y la temperatura mínima diaria  $T_{min}$ , recopiladas durante un ciclo de un día. Este parámetro es importante para poder calcular el pendiente de la curva de presión. La ecuación para obtener el promedio de temperatura es:

$$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

- **La humedad relativa del aire.**

La cantidad relativa de la saturación del aire a una determinada temperatura representa la humedad relativa ( $HR$ ), que se expresa en porcentaje de la temperatura correspondiente a la saturación en vapor. La ecuación es la siguiente:

$$HR = \frac{e_a}{e^0(T)} * 100$$

Donde:

$HR$  Humedad relativa.

$e_a$  Presión real de vapor.

$e^0(T)$  Presión de saturación de vapor a la temperatura  $T$ .

La pendiente de la curva de presión de saturación de vapor  $\Delta$ .

Para proceder al cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) con el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), se recomienda el cálculo de la pendiente de la curva que define la relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura. La ecuación es la siguiente:

$$\Delta = \frac{4098[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)]}{(T + 237.3)^2} \quad \text{en } [kPa^\circ C^{-1}]$$

Donde:

$T$  es la temperatura media diaria ( $T_{media}$ ).

$\Delta$  es la pendiente de la curva.

- **La presión real de vapor.**

Es un parámetro que define la sustracción de la temperatura a condiciones secas y a condiciones húmedas.

$$e_s = \frac{e_{(T_{max})} + e_{(T_{min})}}{2}$$

$$e_{T_{max}} = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right)$$

$$e_{T_{min}} = 0.6108 \exp \left( \frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right)$$

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^0(T_{media})$$

Donde:

$e_T$  presión de vapor de saturación a la temperatura  $T$  (kPa).

$e_s$  déficit de presión de vapor.

$e_a$  presión real de vapor.

- **La radiación neta.**

Es el producto de sustracción entre la radiación que incide en el suelo y la que se refleja. Es decir, es la diferencia entre una radiación corta  $R_{ns}$  y una radiación larga  $R_{nl}$ . La ecuación es:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \Rightarrow \text{Radiación neta.}$$

$$R_{ns} = 0.77R_s \Rightarrow \text{Radiación neta de onda corta.}$$

$$R_s = (0.25 + 0.5 \frac{n}{N}) R_a \Rightarrow \text{Radiación solar que entra.}$$

$R_a \Rightarrow \text{Radiación extraterrestre.}$

En el presente estudio, el valor de la radiación extraterrestre se obtiene mediante una interpolación lineal sobre la altitud considerada, y consultando la tabla mencionada de los diferentes valores de Radiación extraterrestre ( $R_a$ ) en diferentes altitudes en el Hemisferio norte y Sur (FAO, 1998)

$$R_{nl} = \frac{\sigma T_{max} K^4 - \sigma T_{min} K^4}{2} (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right)$$

⇒ Radiación neta de onda larga

La función de la ley de Stefan-Boltzmann nos permite de determinar el parámetro  $\sigma T_{max} K^4$  de la ecuación, que se define como el siguiente:

$$\sigma = 4.903 * 10^{-9} \text{ MJK}^{-4}\text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$$

$$yT_k = T [^{\circ}\text{C}] + 273.16$$

$$R_{so} = \left(0.75 + \frac{2z}{100000}\right) R_a$$

- **El flujo de calor.**

Es un parámetro que representa la cantidad de energía disponible para el calentamiento del suelo. Se basa en la idea de que la temperatura del suelo tiene similar tendencia que la del aire, así tendremos:

Para periodos diarios: el flujo  $G$  es nulo.

$$G_{mes,i} = 0$$

Para periodos mensuales:

$$G_{mes,i} = 0,07(T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1})$$

Para periodos mensuales con conocimiento de la temperatura mensual:

$$G_{mes,i} = 0,14(T_{mes,i} - T_{mes,i-1})$$

**ANEXO 2: Valores máximos admisibles para la reutilización de agua depurada de uso agrícola, R.D. 1620/2007.**

USO AGRICOLA	VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SOLIDOSEN SUSPENSION	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>CALIDAD 2.1</b>	1 huevo/10 l	100 UFC/100 ml.	20 mg/l	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.  Legionella spp. 1000 UFC/l (si existe riesgo de aerosolización). Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos. Presencia/Ausencia (Salmonella, etc. ) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1000.
a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las parte comestibles para alimentación humana en fresco		Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases*con los siguientes valores;  n=10 m=100 UFC/100 ml M=1000 UFC/100 ml c= 3			
<b>CALIDAD 2.2</b>	1 huevo/10 l	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.  Taenia saginata y Taenia solium: 1 huevo/l. Si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc. ) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10000
a) Riego de productos para consumo humano con sistemas deaplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero elconsumo no es en frescosino con un tratamiento industrial posterior.  b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.  c) Acuicultura.		Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases*con los siguientes valores;  n=10 m=1000 UFC/100 ml M=10000 UFC/100 ml c= 3			
<b>CALIDAD 2.3</b>	1 huevo/10 l	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp. 100 UFC/l
a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.  b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.  c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes, ensilados, cereales y semillas oleaginosas.					
Siendo: n: número de unidades de la muestra m: valor límite admisible para el recuento de bacterias M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.					